ชีววิทยา

(ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลือง

ระบบภูมิคุ้มกัน

และการสังเคราะห์ด้วยแสง)

นพ.วีรวัช เอนกจำนงค์พร

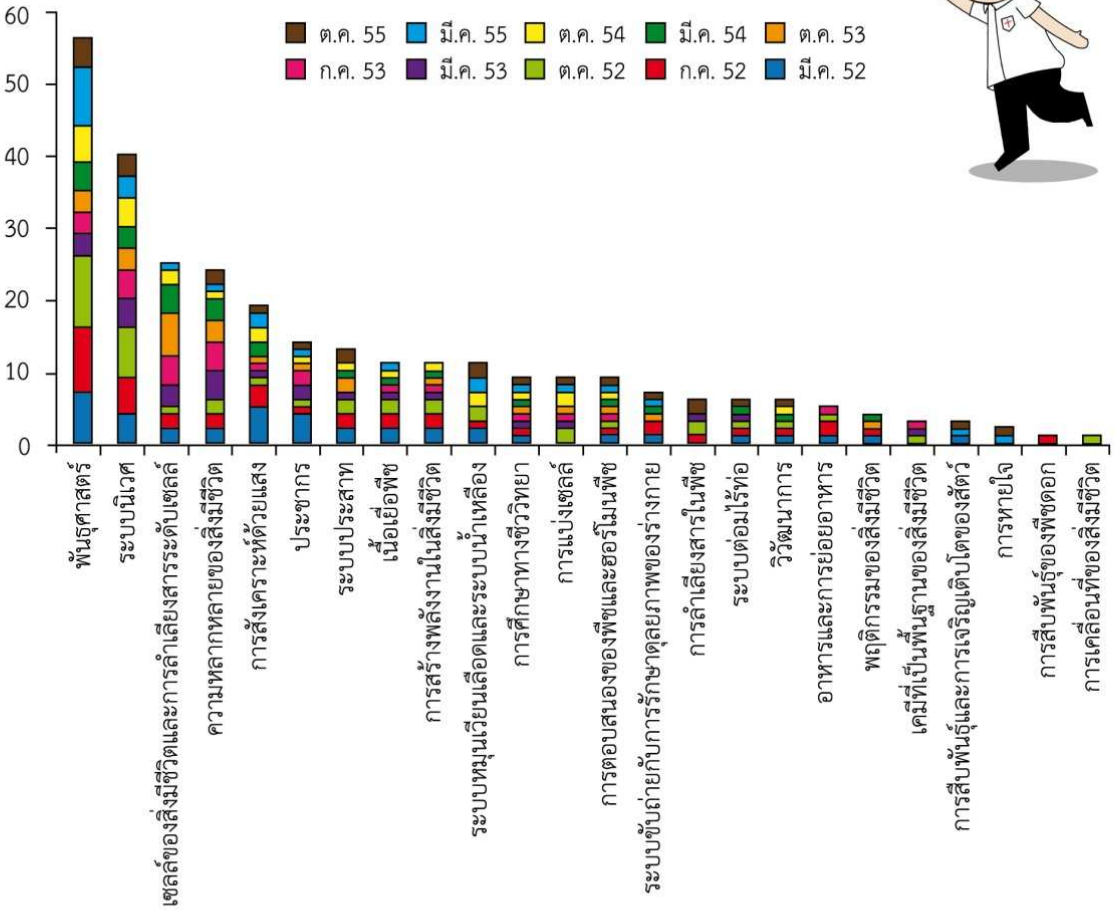
ชีววิทยา (Biology)

Part 1

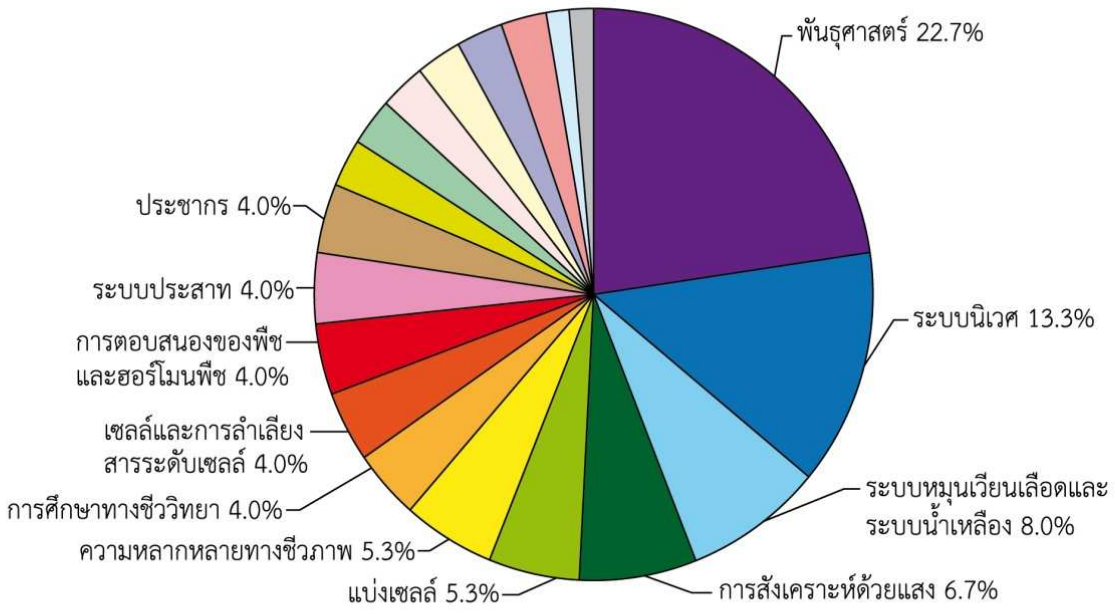
พี่วิเวียน

อาจารย์นายแพทย์ วีรวัช เอนกจำนงค์พร
สถาบันกวดวิชาออนดีมานด์

สถิติข้อสอบ PAT2 ย้อนหลัง 10 ครั้ง



สถิติข้อสอบ PAT2 ย้อนหลัง 3 ครั้งล่าสุด

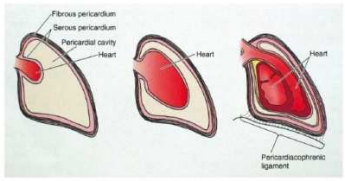


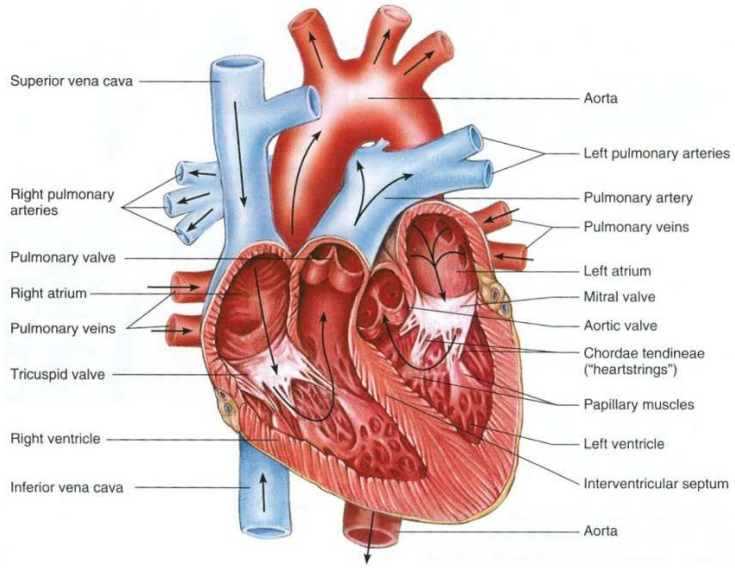
A ระบบหมุนเวียนเลือด (circulatory system)

A1 หัวใจ

1 พัฒนามาจากเนื้อเยื่อชั้นกลาง (mesoderm) หุ้มด้วยเยื่อหุ้มหัวใจ (pericardium)

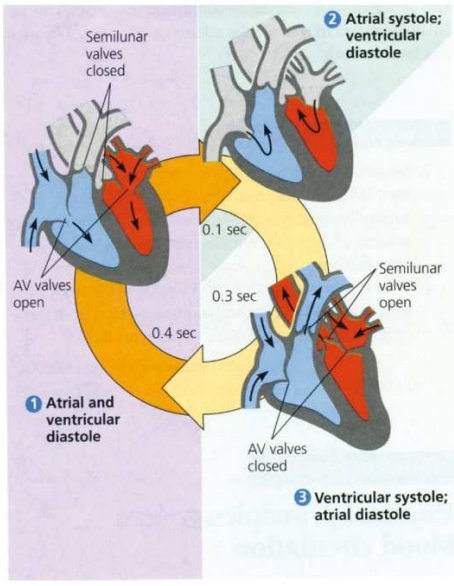
- epicardium : หลอดเลือดแดงโคโรนารีอาร์เตอรี (coronary artery)
  - coronary artery = เส้นเลือดที่แตกแขนงแรกจากโคนเส้นเลือดแดงเอออร์ตา (aorta) → พันรอบหัวใจ
  - ถ้าตีบตัน → เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่ได้ → หัวใจวาย → ทำ balloon แทงที่เส้นเลือดแดงบริเวณขาหนีบหรือต้นแขน
- กล้ามเนื้อหัวใจ (myocardium) : ความหนามากที่สุด และประกอบด้วยกล้ามเนื้อหัวใจเกือบทั้งหมด
- เยื่อบุหัวใจ (endocardium) : ลิ้นหัวใจ





2 ห้องหัวใจ

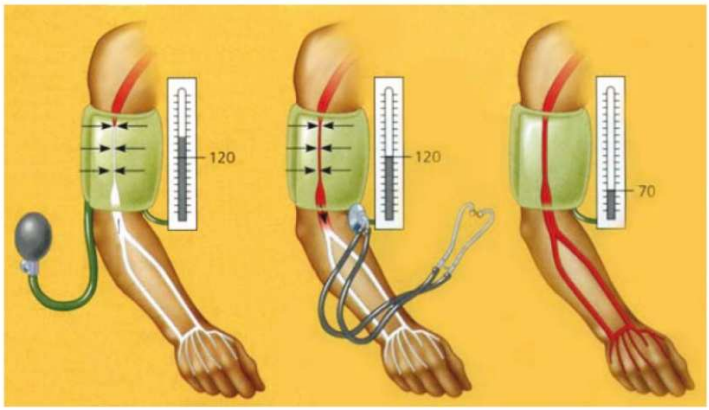
- หัวใจห้องบนขวา (Right Atrium : RA) รับเลือดที่มาจากหลอดเลือดดำใหญ่ซุพีเรียเวนาคาวา และอินฟีเรียเวนาคาวา (superior/ inferior vena cava)
- หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle : RV) รับเลือดจากหัวใจห้องบนขวาส่งออกไปยังปอด ผ่านหลอดเลือดแดงพัลโมนารี (pulmonary artery)
- หัวใจห้องบนซ้าย (Left Atrium : LA) รับเลือดจากปอดผ่านหลอดเลือดแดงพัลโมนารี (pulmonary veins) ไปให้หัวใจห้องล่างซ้าย
- หัวใจห้องล่างซ้าย (Left Ventricle : LA) รับเลือดจากหัวใจห้องบนซ้าย และสูบฉีดเลือดไปยังร่างกายผ่านทางหลอดเลือดแดงใหญ่เออร์ตา (aorta)



3 ลิ้นหัวใจ

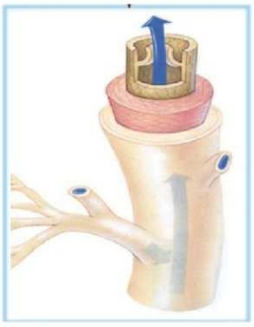
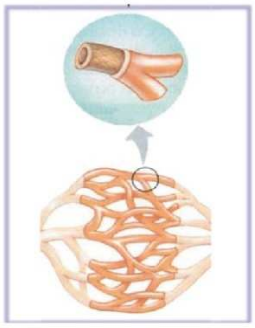
- ลิ้นหัวใจไตรคัสปิด (tricuspid valve) อยู่ระหว่างหัวใจห้องบนขวาและล่างขวา
- ลิ้นไบคัสปิด (bicuspid valve) อยู่ระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและล่างซ้าย
- ลิ้นหัวใจพัลโมนารีเซมิลูนาร์ (pulmonary semilunar valve) อยู่ระหว่างหัวใจห้องล่างขวาและหลอดเลือดแดงพัลโมนารี
- ลิ้นหัวใจเอออร์ติกเซมิลูนาร์ (aortic semilunar valve) อยู่ระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายและหลอดเลือดแดงใหญ่

- 4 ความดันเลือด (blood pressure)
  - ชนิด
    - systolic pressure : ความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว
    - diastolic pressure : ความดันต่ำสุดขณะหัวใจคลายตัว
  - การวัดความดัน
    - sphygmomanometer = อุปกรณ์ในการวัดความดันโลหิต
    - ความดันเลือดสูงมากเมื่อใกล้หัวใจ และค่อยๆ ลดลง
    - วัดที่ artery บริเวณแขนด้านบน
  - ค่าปกติ
    - ผู้ชาย : 120/80 mmHg
    - ผู้หญิง : 110/70 mmHg
  - ↑BP
    - ชาย > หญิง
    - ↑stress (ความเครียด)
    - ↑อ้วน
    - ↑ฮอร์โมนเอพิเนฟริน (ตื่นเต้น)
    - ↑คาเฟอีน
    - ↑นิโคติน
    - ↑แอมเฟตามีน
    - ↑อายุ
    - ↑ไขมันในเลือด
    - ↑กิจกรรม (ออกกำลังกาย)
  - hypertension (140/90 mmHg)
    - เกิดจากภาวะที่เส้นเลือดขาดความยืดหยุ่น (atherosclerosis)
      - ไต
      - เบาหวาน
      - ภาวะขาดการออกกำลังกาย
    - ความดันโลหิตสูงตลอดเวลา



- 5 อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) = ชีพจร (pulse)
  - วัดที่ artery
    - ข้อเท้า/ ข้อมือ
    - ต้นคอ
    - ขมับ
  - 72 ครั้ง/นาที คงที่
  - สิ่งกระตุ้น (pulse)
    - หญิง > ชาย
    - ↑ฮอร์โมนเอพิเนฟริน (ตื่นเต้น)
    - ↑คาเฟอีน
    - ↑นิโคติน
    - ↑แอมเฟตามีน
    - ↓อายุ
    - ↓ความแข็งแรงของร่างกาย
    - ภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxia)

A2 เส้นเลือด

สิ่งเปรียบเทียบ	เส้นเลือดอาร์เตอรี	เส้นเลือดเวน	เส้นเลือดฝอย
			
1. ทิศทางการไหลของเลือดในเส้นเลือด	ไหลออกจากหัวใจ	ไหลเข้าสู่หัวใจ	รับเลือดจากอาร์เตอรีแล้วส่งให้กับเวน
2. ลักษณะของเลือดในเส้นเลือด	มี O_2 สูง **ยกเว้น**ในเส้นเลือด umbilical/ pulmonary artery	มี CO_2 สูง ยกเว้นในเส้นเลือด umbilical/ pulmonary vein	มีทั้ง O_2 สูงและ CO_2 สูง
3. ลิ้นในเส้นเลือด	ไม่มี **ยกเว้น**ที่ฐานของเส้นเลือด pulmonary artery และ aorta	มี **ยกเว้น**ในเส้นเลือด pulmonary vein	ไม่มี
4. ความหนาของผนังเส้นเลือด	หนาที่สุด	บางกว่า	บางที่สุด
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเส้นเลือด	แคบกว่าเวน	กว้างกว่าอาร์เตอรี	แคบที่สุด
6. ปริมาณเลือดในเส้นเลือด	10 - 12%	60 - 70%	4 - 5%
7. การมองเห็นจากภายนอก	ไม่เห็น	เห็น	ไม่เห็น
8. ความเร็วของกระแสเลือดในเส้นเลือด	เร็วที่สุด	ปานกลาง	ช้าที่สุด
9. การไหลของเลือดในเส้นเลือด	อาศัยการบีบตัวของหัวใจ	1. แรงดันจากหัวใจ 2. การบีบตัวของกล้ามเนื้อลายที่อยู่รอบๆ 3. การบีบตัวของเส้นเลือดดำเอง 4. ลิ้นในเส้นเลือดดำ	อาศัยการบีบตัวของหัวใจ
10. แรงดันเลือด	สูงสุด	ต่ำสุด	ปานกลาง

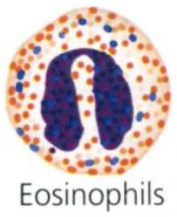
A3

เลือด

- น้ำเลือด [plasma (55%)]
  - serum (ซีรัม/ เซรุ่ม)
    - H_2O 90%
    - โปรตีน → อัลบูมิน/ โกลบูลิน
    - ไอออน
    - ฮอร์โมน
    - ของเสีย
  - โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด
- เม็ดเลือด (45%)
  - เม็ดเลือดขาว (WBC)
    - ปริมาณ
      - เม็ดเลือดขาวสูงขึ้น → ติดเชื้อแบคทีเรีย/ ลิวคีเมีย/ เนื้อเยื่อตาย
      - เม็ดเลือดขาวต่ำลง → ติดเชื้อไวรัส (เอดส์)/ มะเร็ง
    - รูปร่าง
      - ไม่มีฮีโมโกลบิน
      - ใหญ่กว่าเม็ดเลือดแดงและเกล็ดเลือด
      - มีนิวเคลียสและออร์แกเนลล์
    - ชนิด
      - neutrophil (นิวโทรฟิล)
        - ติดสีกลาง (ม่วง)
        - 60-70% ของเม็ดเลือดขาว = สูงสุด
        - นิวเคลียส 2-5 กลีบ
        - phagocyte

Neutrophils

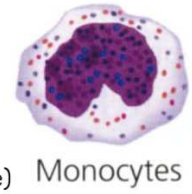
      - eosinophil (อีโอซิโนฟิล)
        - ติดสีกรด (แดงส้ม)
        - 2-4% ของเม็ดเลือดขาว
        - นิวเคลียส 2 กลีบ
        - phagocyte
        - กำจัดพยาธิ


Eosinophils

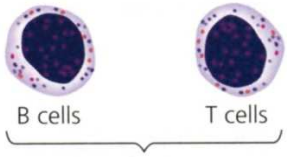
      - basophil (บาโซฟิล)
        - ติดสีด่าง (น้ำเงิน)
        - 0.5-17% ของเม็ดเลือดขาว = ต่ำสุด
        - นิวเคลียส 2 กลีบ
        - แกรนูลขนาดใหญ่จนบังนิวเคลียส
        - phagocyte/ หลั่ง heparin เกี่ยวข้องกับการแพ้

Basophils

      - monocyte (โมโนไซต์)
        - 3-5% ของเม็ดเลือดขาว
        - นิวเคลียสรูปไต เกือกม้า
        - phagocyte
        - อยู่นอกเวสเซลเรียกแมโครเฟจ (macrophage)


Monocytes

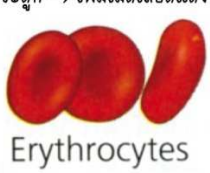
      - lymphocyte (ลิมโฟไซต์)
        - 20-25% ของเม็ดเลือดขาว = อันดับ 2
        - นิวเคลียสกลม
        - สร้างแอนติบอดี
        - ไม่เกิด phagocytosis


B cells T cells Lymphocytes

  - เกล็ดเลือด (platelet)
    - ไม่ใช่เซลล์
    - ปริมาณ 250,000 - 400,000 แผ่น/ลบ.มม.
    - รูปร่างไม่แน่นอน
    - ขนาด 1 - 2 ไมครอน
    - สร้างจากไซโทพลาซึมของเมกะคาริโอไซต์
    - อายุ 10 วัน
    - การแข็งตัวของเลือด (blood clotting)

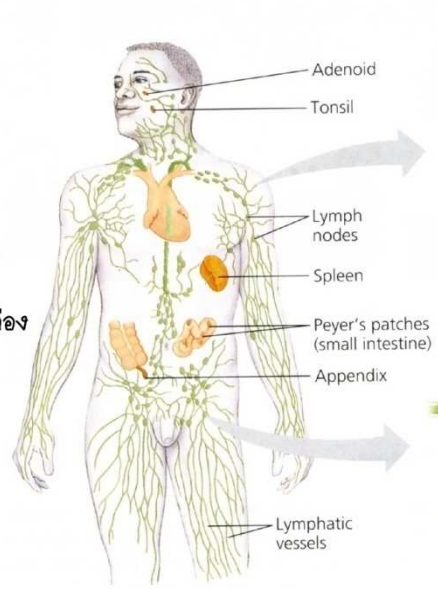
Platelets

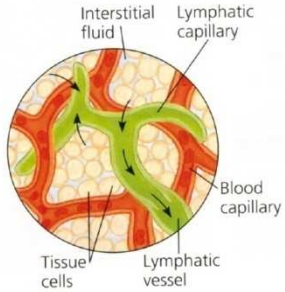
  - เม็ดเลือดแดง (hematocrit = RBC)
    - ปริมาณ : 4-5 ล้านเซลล์/ลบ.มม.
    - สร้าง
      - เอ็มบริโอ = ตับ ม้าม ไขกระดูก
      - ผู้ใหญ่เป็นโรคเลือด : ตับ ม้าม
      - ผู้ใหญ่ปกติ : ไขกระดูก
    - รูปร่าง
      - ตอนเกิดมีนิวเคลียส
      - ออกจากไขกระดูก → นิวเคลียสและไซโทพลาซึมสลาย
      - ตรงกลางเว้าเข้าหากัน (biconcave)
      - มีฮีโมโกลบิน
    - ขนาด 7 ไมครอน
    - อายุ 120 วัน
    - กลไกควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดง = ↓ปริมาณเม็ดเลือดแดง/ ↓ปริมาณ O_2 ในอากาศ/ ขาด O_2 → ไต → ↑erythropoietin → ไขกระดูก → เพิ่มเม็ดเลือดแดง
    - ขนส่งออกซิเจนจากการมีฮีโมโกลบิน
    - ทำลายที่ ตับ ม้าม

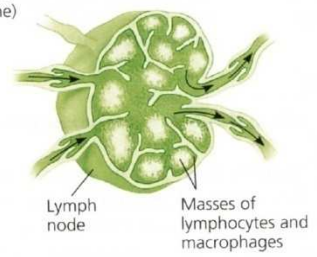

Erythrocytes

B ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system)

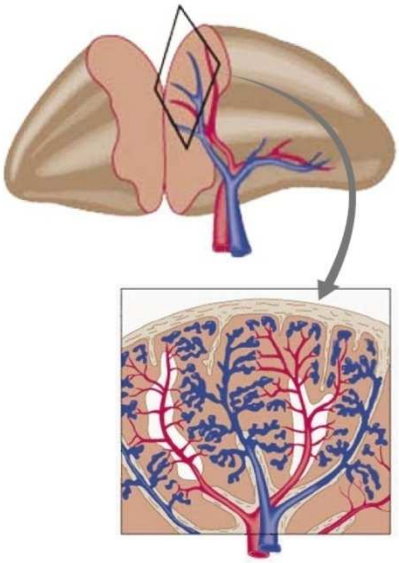
- ลักษณะ
  - ลำเลียงสารโดยเฉพาะไขมันเข้าหัวใจ
  - กำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยเม็ดเลือดขาว
  - ทิศทางเข้าสู่หัวใจ
  - ไม่มีอวัยวะสูบฉีด
    - ลิ้นในท่อน้ำเหลือง
    - ขีบตัวของท่อน้ำเหลือง
    - หดตัวของกล้ามเนื้อรอบท่อน้ำเหลือง
    - แรงดูดจากการหายใจเข้า
    - ~~แรงดันจากหัวใจ~~







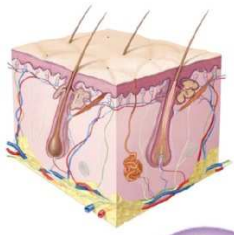
- ประกอบด้วย
  - ท่อน้ำเหลือง (lymp duct)
    - มีลิ้น
    - ปลายลิ้นแทรก 3 เนื้อเยื่อ
    - ท่อน้ำเหลืองด้านขวา → รับน้ำเหลืองจากซีกขวาบน
    - ท่อน้ำเหลืองทอราซิก (ด้านซ้าย) → รับน้ำเหลืองจากที่เหลือ
  - ต่อมน้ำเหลือง (lymph node)
    - กรองน้ำเหลือง
    - ประกอบด้วยแมโครเฟจ เซลล์พลาสมา ลิมโฟไซต์
    - ต่อมทอนซิล (tonsil gland)
      - 3 คู่ บริเวณคอหอย
    - ม้าม
      - ขนาดใหญ่สุด
      - ทำหน้าที่ผลิตเม็ดเลือดในระยะเอ็มบริโอ
      - phagocytosis
      - สร้างแอนติบอดี (ภูมิคุ้มกัน)
      - ทำลายเม็ดเลือดแดง
    - ต่อมไทมัส (thymus gland)
      - อยู่หน้าหัวใจ
      - สร้างฮอร์โมน thymocin
      - พัฒนาทีเซลล์



C ระบบภูมิคุ้มกัน (immune system)

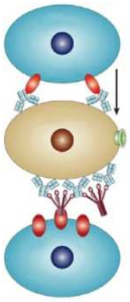
ระบบภูมิคุ้มกัน (immunity)

C1 ภูมิคุ้มกันที่มีมาแต่กำเนิด (innate immunity)

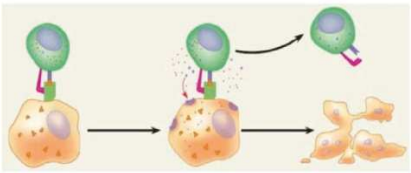


- มีมาแต่กำเนิด
- ไม่จำเพาะเจาะจงกับสิ่งแปลกปลอม/ antigen
- ตอบสนองรวดเร็ว
- แบ่งเป็น
  - การป้องกันภายนอก → ผิวหนัง/ เมือก/ สารคัดหลั่ง
  - การป้องกันภายใน → ฟาโกไซทิกเซลล์/ คอมพลีเมนต์/ เซลล์เพชฌฆาต (NK cell)

C2 ภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นภายหลัง (acquired immunity)



- การตอบสนองภูมิคุ้มกันที่มีการสร้างแอนติบอดี
  - สร้างและพัฒนาที่ไขกระดูก
  - ออกมาอยู่ที่ต่อมน้ำเหลือง
  - เมื่อเจอแอนติเจน → plasma cell → สร้างแอนติบอดี = immunoglobulin
  - บีเซลล์ = เซลล์หน่วยความจำ
- การตอบสนองภูมิคุ้มกันโดยผ่านเซลล์โดยตรง
  - T-cell สร้างจากไขกระดูก พัฒนาที่ต่อมไทมัส
  - แบ่งเป็น
    - T-cell ผู้ช่วย (CD-4)
      - กระตุ้นภูมิคุ้มกันที่มีมาแต่กำเนิด
      - กระตุ้นบีเซลล์
      - กระตุ้นตัวเอง
      - เซลล์หน่วยความจำ
      - เป้าหมายของเชื้อ HIV



    - T-cell ผู้กำจัด (CD-8) → ทำลายเซลล์มะเร็ง/ เซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส/ เซลล์หน่วยความจำ

การสร้างภูมิคุ้มกัน (immunization)

C3 การสร้างภูมิคุ้มกันแบบก่อเอง (active immunization)

- แอนติเจนกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน
- วัคซีน (vaccine)
  - เชื้อตาย → ไทฟอยด์/ ไอกรน/ อหิวาตกโรค
  - เชื้อที่อ่อนกำลังลง → โปลิโอ/ หัด/ คางทูม/ วัณโรค/ หัดเยอรมัน
- ทอกซอยด์ (toxoid) — เชื้อหมดฤทธิ์ → คอตีบ/ บาดทะยัก
- ข้อดี เกิดภูมินาน
- ข้อเสีย ใช้เวลานานกว่าจะสร้างภูมิ
- ตัวอย่าง → การเล่นกับเพื่อนที่ติดหวัด/ เป็นโรคหัดตั้งแต่เด็ก

C4 การสร้างภูมิคุ้มกันแบบรับมา (passive immunization)

- รับแอนติบอดีสำเร็จรูป
- เซรุ่ม (serum) → พิษสุนัขบ้า/ พิษงู/ พิษแมงมุม
- แอนติบอดีในน้ำนมมารดา (colostrum) และที่ผ่านรก
- ข้อดี ใช้ได้ทันที
- ข้อเสีย อยู่ไม่นานและอาจเกิดอาการแพ้

แนวข้อสอบ

1. ถ้าเซลล์เม็ดเลือดแดงเซลล์หนึ่งอยู่ในหลอดเลือดแดงที่แขนซ้าย และต้องเดินทางไปยังหัวใจห้องล่างซ้าย เซลล์เม็ดเลือดแดงดังกล่าวต้องเคลื่อนผ่านหลอดเลือดฝอยทั้งหมดกี่ชุด

   1. 1
   2. 2
   3. 3
   4. 4

2. เมื่อเซลล์เม็ดเลือดแดงเซลล์หนึ่งเดินทางออกจากหัวใจห้องล่างขวาของคนที่มีสุขภาพเป็นปกติ ตำแหน่งแรกของหัวใจที่เซลล์เม็ดเลือดแดงนี้จะเดินทางกลับเข้ามาคือส่วนใด

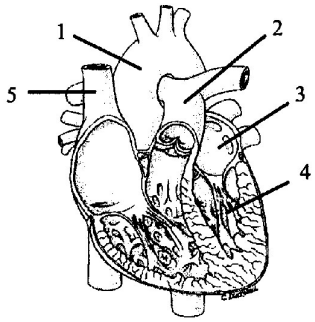
   1. ห้องบนซ้าย
   2. ห้องบนขวา
   3. ลิ้นไบคัสปิด
   4. ลิ้นเอออร์ติกเซมิลูนาร์

3. จากการตรวจวินิจฉัยคนไข้รายหนึ่งพบว่า คนไข้สามารถผลิตแอนติบอดีต่อต้านการติดเชื้อแบคทีเรีย แต่ไม่สามารถผลิตแอนติบอดีต่อต้านเชื้อไวรัสได้ ข้อใดแสดงองค์ประกอบที่ผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันของคนไข้รายนี้

   1. เซลล์ที
   2. เซลล์บี
   3. แมโครเฟจ
   4. พลาสมาเซลล์

แบบฝึกหัด

1. ภาพโครงสร้างหัวใจคน



จากข้อมูลในภาพ

A เลือดในหลอดเลือดหมายเลข 1 เป็นเลือดที่มีออกซิเจนมาก

B หลอดเลือดหมายเลข 2 นำเลือดไปปอด

C ลิ้นไตรคัสปิดเป็นลิ้นที่กั้นระหว่างห้องหัวใจหมายเลข 3 กับหมายเลข 4

D หลอดเลือดหมายเลข 5 นำเลือดจากหัวใจและแขนเข้าสู่หัวใจ

ข้อใดถูก (PAT2 ต.ค. 52)

1. A B C
2. A B D
3. A B C D
4. C D

2. ข้อใดไม่ถูกต้องเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนเลือดของคน (PAT2 มี.ค. 52)
   1. เลือดจากปอดที่นำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อหัวใจต้องผ่านลิ้นไตรคัสปิดและเซมิลูนาร์ในหัวใจ
   2. ความดันเลือดในพัลโมนารีอาร์เตอรีสูงกว่าในพัลโมนารีเวน
   3. อัตราการเต้นของหัวใจสามารถวัดได้จากการเต้นของชีพจร
   4. ถ้าโคโรนารีอาร์เตอรีตีบหรือแข็งจะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจตาย

3. จะไม่พบการกำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยวิธีฟาโกไซโทซิสในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดใด (PAT2 ก.ค. 53)
   1. ลิมโฟไซต์
   2. อีโอซิโนฟิล
   3. นิวโทรฟิล
   4. โมโนไซต์

4. การสร้างภูมิคุ้มกันในคน ข้อใดถูก (PAT2 ต.ค. 52)

A การฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันแบบคุ้มกันก่อเอง (active immunization)

B การเลี้ยงทารกด้วยน้ำนมแม่เป็นการให้ภูมิคุ้มกันเทียบได้กับการเล่นกับเพื่อนที่ติดหวัด

C การเป็นโรคหัดตั้งแต่เล็กเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันแบบภูมิคุ้มกันรับมา (passive immunization) ทำให้ไม่เป็นโรคนี้อีกตลอดชีวิต

1. A
2. A B
3. C
4. A B C

5. ถ้าตรวจเลือดแล้วพบว่าเม็ดเลือดขาวเพิ่มมากขึ้นผิดปกติแสดงว่าเป็นโรคใด (O-NET 50)

1. เอดส์
2. ติดเชื้อ
3. โลหิตจาง
4. ธาลัสซีเมีย

6. อวัยวะในข้อใดต่อไปนี้ไม่เป็นส่วนหนึ่งของระบบน้ำเหลืองในร่างกายมนุษย์ (O-NET 52)

1. ม้าม
2. ทอนซิล
3. ต่อมไทมัส
4. ต่อมหมวกไต

7. การรณรงค์ให้เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมแม่ในระยะหลังคลอด เนื่องด้วยเหตุผลสำคัญในข้อใด (O-NET 49)

1. น้ำนมแม่มีโปรตีนสูง
2. น้ำนมแม่ไม่มีเชื้อโรค
3. น้ำนมแม่มีแอนติบอดี
4. น้ำนมแม่มีแอนติเจน

8. วัคซีนที่ใช้หยดป้องกันโรคโปลิโอในเด็กเป็นสารใด (O-NET 49)

1. แอนติบอดี
2. แอนติเจน
3. เอนไซม์
4. แอนติไบโอติก

9. เมื่อเด็กหญิง X ได้รับสาร A แล้วร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันที่อยู่ได้นาน ต่อมาเขาได้รับสาร B ซึ่งเป็นภูมิคุ้มกันที่อยู่ได้ไม่นาน สาร A และ B หมายถึงสารในข้อใดตามลำดับ (O-NET 54)

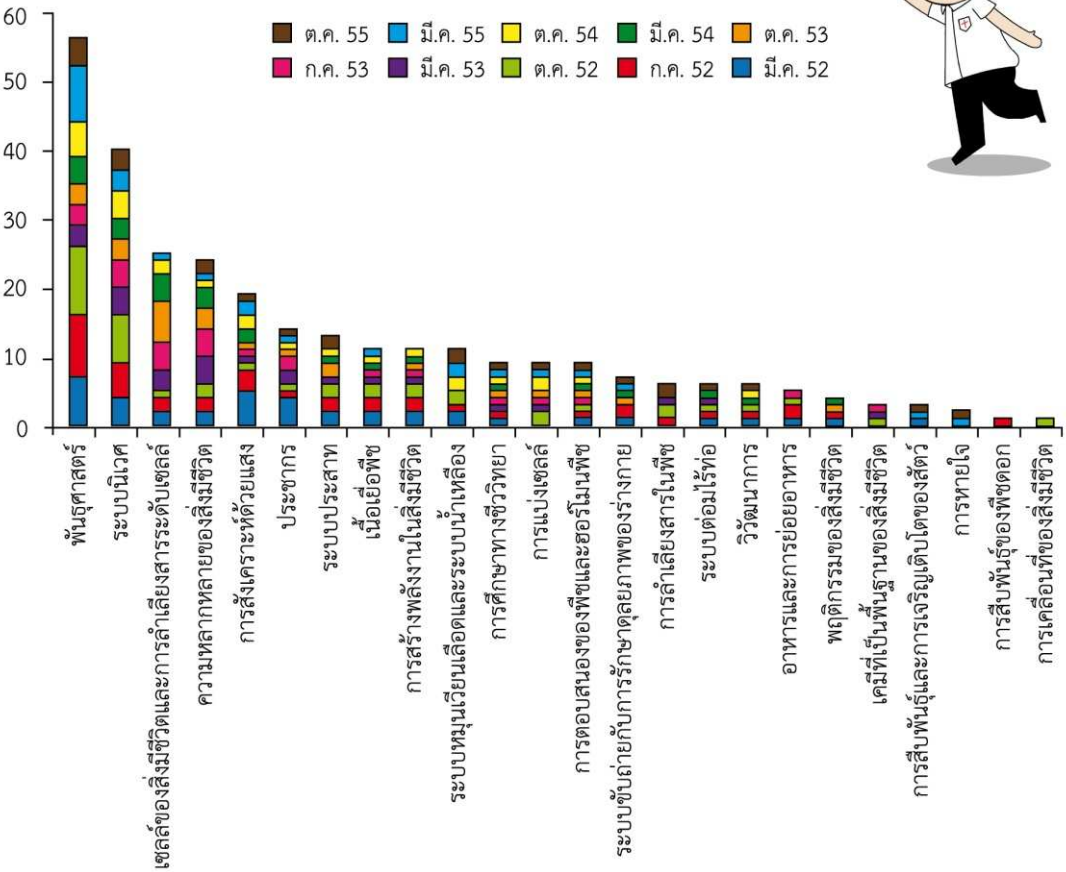
1. เซรุ่ม วัคซีน
2. วัคซีน เซรุ่ม
3. เซรุ่ม ทอกซอยด์
4. ทอกซอยด์ วัคซีน

10. ข้อใดเป็นความจริง (O-NET 51)

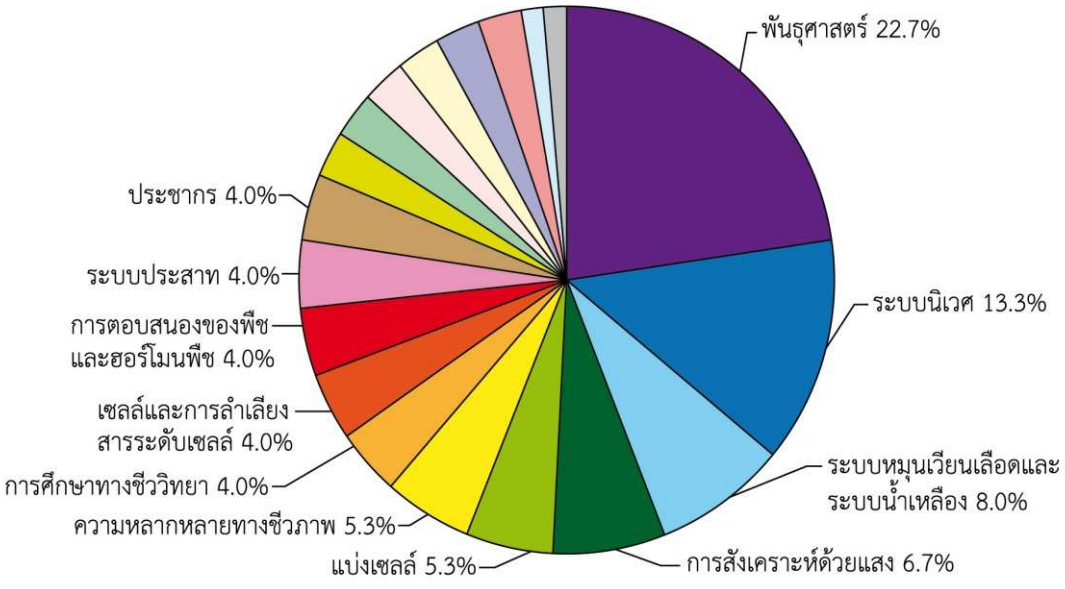
1. ภูมิคุ้มกันที่ทารกได้จากแม่สามารถคุ้มกันโรคได้ทุกชนิด
2. วัคซีนป้องกันโรคไทฟอยด์ผลิตจากจุลินทรีย์ที่มีชีวิต
3. ม้ามเป็นอวัยวะน้ำเหลืองขนาดใหญ่ที่สุดของมนุษย์
4. ส่วนประกอบหลักของเซรุ่มคือสารพิษของจุลินทรีย์ที่หมดสภาพความเป็นพิษแล้ว

ชีววิทยา
(Biology)
Part II
พี่วิเวียน
อาจารย์นายแพทย์ วีรวัช เอนกจำนงค์พร
สถาบันกวดวิชาออนดีมานด์

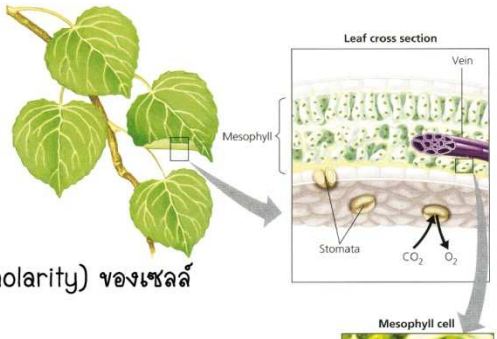
สถิติข้อสอบ PAT2 ย้อนหลัง 10 ครั้ง



สถิติข้อสอบ PAT2 ย้อนหลัง 3 ครั้งล่าสุด



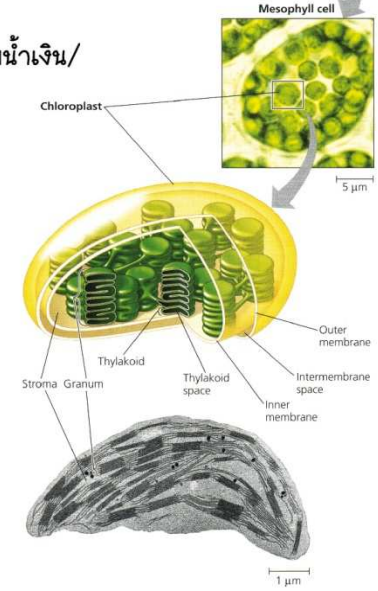
A การสังเคราะห์ด้วยแสง



- ใช้พลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจน (H) จากน้ำ เป็นคาร์โบไฮเดรต

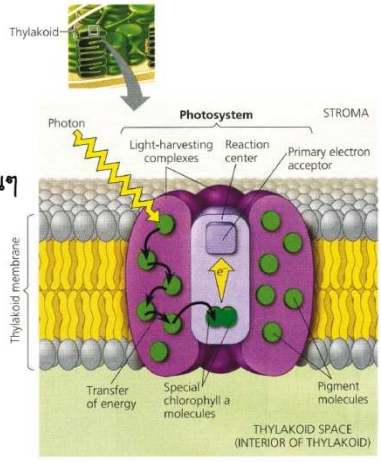
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{accessory pigment}]{\text{chlorophyll}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

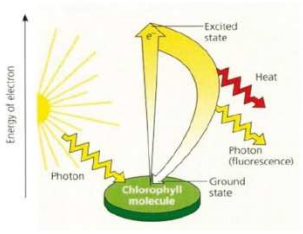
- เป็นกระบวนการดูดพลังงาน
- น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแป้งอย่างรวดเร็ว → มีผลต่อค่าออสโมลาริตี (osmolarity) ของเซลล์
- ทดสอบการสังเคราะห์แสง → แป้งและ O_2 ที่เกิด
- พบในพืชทุกชนิด/ สาหร่าย/ ยูกลีนา/ วอลวอกซ์/ ไลเคนส์/ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน/ แบคทีเรียสังเคราะห์ด้วยแสง
- เกิดที่คลอโรพลาสต์ (chloroplast)
  - เยื่อหุ้มเมมเบรน 2 ชั้น (double unit membrane)
  - เยื่อชั้นในยื่นเข้ามา = lamella
  - lamella พับทบกันจนหลุดเป็นถุง = thylakoid
  - thylakoid เรียงซ้อนกันเป็นตั้ง = granum
  - แต่ละตั้ง granum เชื่อมด้วย stroma lamella
  - โครงสร้างทั้งหมดนี้อยู่ในของเหลว = stroma
    - DNA
    - ribosome
    - photosynthetic enzyme
  - ขนผิว thylakoid มี granule
  - large granule = pigment (รงควัตถุ)
  - small granule = photosynthetic enzyme (เอนไซม์สำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสง)



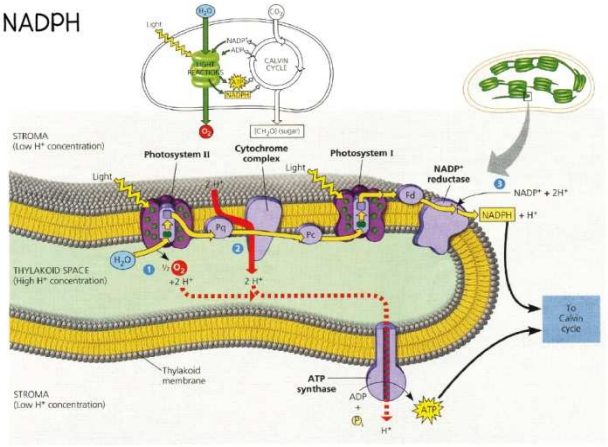
A1 ปฏิกิริยาแสง (light-dependent reaction)

- ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีแสงเท่านั้น
- ผลผลิต → ATP/ reduce NADP (NADPH)/ O_2
- เกิดขึ้นที่ไทลาคอยด์ (thylakoid) หรือ สโตรมาลาเมลลา (stroma lamella)
- พลังงานแสง → แอนเทนนา = คลอโรฟิลล์/ แคโรทีนอยด์/ รงควัตถุประกอบอื่นๆ → โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ a [ศูนย์กลางของปฏิกิริยา (reaction center)] → มีพลังงานสูงขึ้น → สภาพเร่งเร้า (excited state) → ส่งอิเล็กตรอนให้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่นอีกหลายตัว

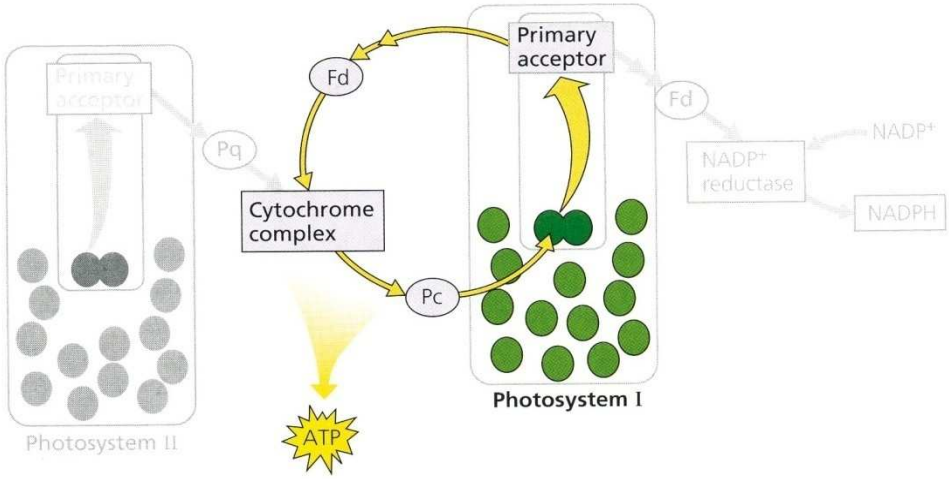




- รงควัตถุ = ระบบแสง = แอนเทนนา (antenna)
  - ระบบแสง I (photosystem I/ PSI)
    - รงควัตถุส่วนใหญ่เป็นคลอโรฟิลล์ a ⟶ ดูดคลื่นแสงที่ยาวกว่า 680 nm ⟶ ส่งไปคลอโรฟิลล์ a ชนิดพิเศษ ดูดแสงที่ความยาวคลื่น 700 nm ⟶ P700
    - P700 (คลอโรฟิลล์ a ดูดแสง 700 nm) เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยา (Reaction Center : RC)
  - ระบบแสง II (photosystem II/ PSII)
    - รงควัตถุประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ a/ คลอโรฟิลล์ b/ แคโรทีนอยด์/ ไฟโคบิลิน ⟶ ดูดแสงที่ต่ำกว่า 680 nm
    - P680 (คลอโรฟิลล์ a ดูดแสง 680 nm) เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยา (Reaction Center : RC)
- กลไก
  - noncyclic photophosphorylation
    - เกิดที่ thylakoid หรือ stroma lamella ของพืชทุกกลุ่ม ในสภาวะที่มีแสงเท่านั้น
    - ขั้นตอน
      - antenna ของ PSII ดูดกลืนพลังงานแสง กระตุ้นให้ P680 (chlorophyll a โมเลกุลพิเศษ) เกิด photo-oxidation
      - e^- เกิดการถ่ายทอดให้ตัวรับ e^- แบบไม่เป็นวัฏจักร จาก P680 ⟶ Pq ⟶ cytochrome complex ⟶ Pc
      - antenna ของ PSI ดูดกลืนพลังงานแสง กระตุ้นให้ P700 เกิด photo-oxidation (เกิดพร้อมกับ PSII)
      - e^- เกิดการถ่ายทอดแบบไม่เป็นวัฏจักรจาก P680 ⟶ Pq ⟶ cytochrome complex ⟶ Pc ⟶ P700 ⟶ Fd ⟶ $NADP^+$
      - ferredoxin $NADP^+$ oxidoreductase เร่งให้ $NADP^+ + 2e^- + H^+$ (ใน stroma) ⟶ $NADPH + H^+$
      - P680 ขาด e^- ⟶ น้ำชดเชย e^- ให้ P680
      - พลังงานแสงกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำแตกตัว
      - เกิด photolysis (Hill's reaction) ใน thylakoid lumen ใกล้ๆ PSII ดังสมการ $H_2O \longrightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$
      - มีลำดับการถ่ายทอด e^- แบบไม่เป็นวัฏจักร คือ H_2O ⟶ P680 (PSII) ⟶ Pq ⟶ cytochrome complex ⟶ Pc ⟶ P700 (PSI) ⟶ Fd ⟶ $NADP^+$
      - แต่ละช่วงของการถ่ายทอดมีระดับพลังงานที่ต่างกัน โดย $NADP^+$ เป็นตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย
      - ระหว่างการถ่ายทอด e^- มีการปั๊มโปรตอน (H^+) จาก stroma เข้า thylakoid lumen
      - ↑$[H^+]$ = ↓pH ใน thylakoid lumen (= มี H^+ เข้าไปสะสมใน lumen)
      - เกิดผลต่างของความเข้มข้นและประจุ ระหว่าง thylakoid lumen กับ stroma
      - ขับเคลื่อนให้ H^+ แพร่จาก thylakoid lumen กลับเข้า stroma = chemiosmosis
      - เกิด proton-motive force
      - ATP synthase นำพลังงานไปสร้าง ATP = photophosphorylation (เกิดที่ thylakoid membrane)
    - ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ATP/ NADPH

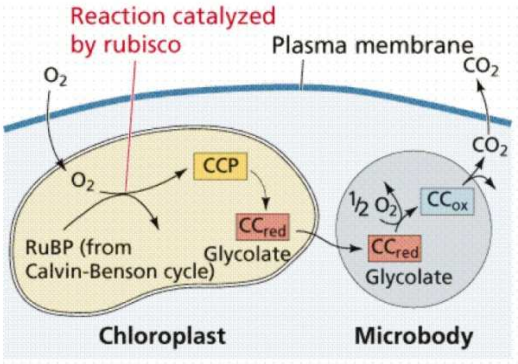


- cyclic photophosphorylation
  - เกิดที่ thylakoid หรือ stroma lamella ของพืชทุกกลุ่ม ในสภาวะที่มีแสงเท่านั้น
  - ขั้นตอน
    - antenna ของ PSI ดูดกลืนพลังงานแสง กระตุ้นให้ P700 เกิด photo-oxidation
    - e^- เกิดการถ่ายทอดแบบเป็นวัฏจักร จาก P700 → Fd → cytochrome complex → Pc → P700
    - ระหว่างการถ่ายทอด e^- มีการปั๊มโปรตอน (H^+) จาก stroma เข้า thylakoid lumen
    - ↑$[H^+]$ = ↓pH ใน thylakoid lumen
    - เกิดผลต่างของความเข้มข้นและประจุระหว่าง thylakoid lumen กับ stroma
    - ขับเคลื่อนให้ H^+ แพร่จาก thylakoid lumen กลับเข้า stroma = chemiosmosis
    - เกิด proton-motive force
    - ATP synthase นำพลังงานไปสร้าง ATP = photophosphorylation
  - ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ATP

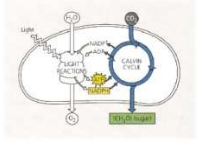


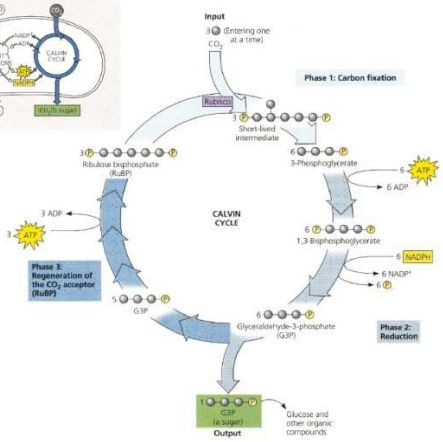
A2 ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (light-independent reaction = dark reaction)

- นำเอา ATP/ NADPH ที่ได้จาก light reaction มาใช้
- จับโมเลกุลของ CO_2 ที่ตรึงเข้ามาให้เป็นน้ำตาล
- ไม่มีการนำพลังงานแสงมาใช้ในทุกขั้นตอนของปฏิกิริยา
- ไม่สามารถเกิดในเวลากลางคืนได้
  - ATP/ NADPH ต้องหมุนเวียนมาใช้
  - จำเป็นต้องใช้แสงในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์

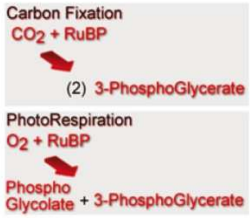


- กลไก
  - พืช C_3 (ผลิตภัณฑ์ตัวแรกเป็นสาร C 3 อะตอม = PGA)
    - เกิดที่ stroma ในคลอโรพลาสต์ของพืช C_3 → mesophyll/ guard cell/ ~~bundle sheath~~
    - ตรึง CO_2 1 ครั้งจากอากาศ = วัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) → เกิด Calvin cycle 6 รอบ ต่อกลูโคส 1 โมเลกุล
      - 1 carbon fixation (carboxylation) → ตรึง CO_2 1 ครั้ง
        - ribulose-6-bisphosphate (RuBP = C-5) + $6CO_2$ $\xrightarrow{\text{RuBisCO}}$ 12PGA (C-3) (ไม่ใช้ ATP)
        - ใช้เอนไซม์ RuBisCO (เป็น carboxylase)/ RuBP carboxylase → โปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดในใบพืช/ ในทุกเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์
        - 3-phosphoglycerate (3-PGA = C-3) เป็นสารเสถียรตัวแรกที่ได้
      - 2 reduction → ATP เติมหมู่ Pi ให้ PGA
        - 12PGA (C-3) → 12PGAL (C-3)/ G3P (น้ำตาลที่เสถียรตัวแรก → สร้างกลูโคส/ ซูโครส/ แป้ง → สลายให้พลังงาน)
      - 3 regeneration → ATP เติมหมู่ Pi ให้ PGAL เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็น RuBP
        - 10PGAL (C-3) + 6ATP → 6RuBP (C-5) + 6ADP + 4Pi
    - ผลผลิตสุดท้าย = O_2 / PGAL (G3P)
      (ไม่เกิดน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม)

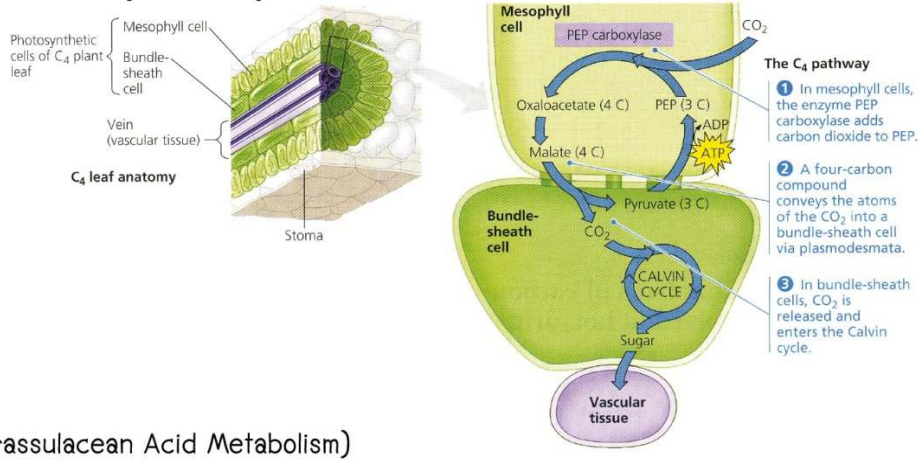




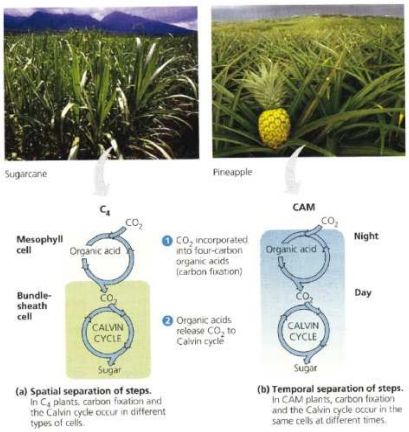
  - photorespiration
    - ปริมาณ O_2 สูง ยับยั้งการสังเคราะห์แสง
    - ตรึง O_2 โดย RuBisCO (เป็น oxygenase)
    - RuBP (C-5) + O_2 → PGA (C-3) + phosphoglycolate (C-2)
  - ตัวอย่าง
    - ใบเลี้ยงเดี่ยว → ข้าวสาลี/ ข้าวเจ้า/ ข้าวขาเลย์
    - ใบเลี้ยงคู่ส่วนใหญ่ → ผักโขมจีน/ มะม่วง

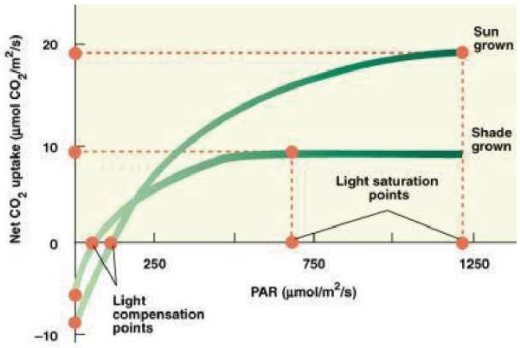
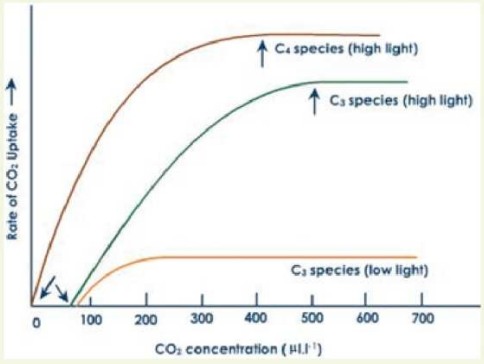


- พืช C_4 (ผลิตภัณฑ์ตัวแรกเป็นสาร C 4 อะตอม = OAA)
  - เกิดที่ stroma ในคลอโรพลาสต์ของพืช C_4 → mesophyll/ guard cell/ bundle sheath
  - ตรึง CO_2 2 ครั้ง → เสียเวลาตอนเริ่มต้น
    - ครั้งที่ 1
      - เกิดที่ mesophyll ตรึง CO_2 จากบรรยากาศ
      - ใช้เอนไซม์ PEP carboxylase → กลไก Hatch-Slack
      - phosphoenolpyruvate (PEP = C-3) + CO_2 $\xrightarrow{\text{PEP carboxylase}}$ oxaloacetic acid (OAA = C-4)
    - ครั้งที่ 2
      - เกิดที่ bundle sheath
      - ใช้เอนไซม์ RuBisCO → Calvin cycle
  - ไม่มี photorespiration
  - ตัวอย่าง
    - ใบเลี้ยงเดี่ยว → ข้าวโพด/ ข้าวฟ่าง/ อ้อย
    - ใบเลี้ยงคู่ → ขานไม่รู้โรย/ หงอนไก่

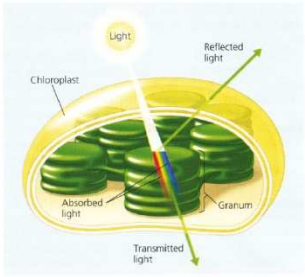


- พืช CAM (Crassulacean Acid Metabolism)
  - เกิดที่ stroma ในคลอโรพลาสต์ และ vacuole ของพืช CAM
  - ตรึง CO_2 2 ครั้ง
    - ครั้งที่ 1
      - เกิดตอนกลางคืน → ปากใบเปิด → ตรึง CO_2 จากบรรยากาศ
      - ใช้เอนไซม์ PEP carboxylase → กลไก Hatch-Slack
      - PEP (C-3) + CO_2 $\xrightarrow{\text{PEP carboxylase}}$ OAA (C-4) → malate
      - เก็บกรดมาลิก (malic acid)/ malate ใน sap vacuole
    - ครั้งที่ 2
      - กลางวัน : ปากใบปิด → ตรึง CO_2 จาก malate ให้ RuBP
      - เกิดปฏิกิริยาแสงและ Calvin cycle
  - $NADP^+$ และ ADP มีจำกัด → อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำสุด
  - พืชในที่แห้งแล้ง → กล้วยไม้/ สับปะรด/ ว่านหางจระเข้/ ศรนารายณ์/ กุหลาบหิน

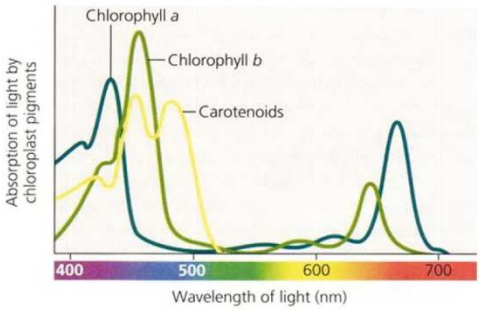


ตัวเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4
จำนวนครั้งการตรึง CO_2	1 ครั้ง → มีการตรึง 1 แห่ง ที่ mesophyll โดย RuBP ใน วัฏจักรคัลวิน	2 ครั้ง → มีการตรึง 2 แห่ง แห่งแรกที่ mesophyll โดย PEP ใน Hatch - Slack pathway แห่งที่ 2 ที่ bundle sheath cell โดย RuBP ในวัฏจักรคัลวิน
ผลิตภัณฑ์ตัวแรก	กรดฟอสโฟกลีเซอริก [PGA (C 3 อะตอม)]	กรดออกซาโลอะซีติก [OAA (C 4 อะตอม)]
คลอโรพลาสต์ที่ mesophyll	มี	มี
บัลเดิลซีทของใบ	มี/ ไม่มี	มี
คลอโรพลาสต์ที่บัลเดิลซีท (bundle sheath)	ไม่มี	มี
ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง	ต่ำ	ดีที่สุด
จุดอิ่มแสง	มี	ไม่มี
ไลท์คอมเพนเซชันพอยท์ (light compensation point)	น้อยกว่า 	มากกว่า
photorespiration	มี	ไม่มี
จุดอิ่ม CO_2	ไม่มี	มี
คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยท์ (CO_2 compensation point)	มากกว่า 	น้อยกว่า

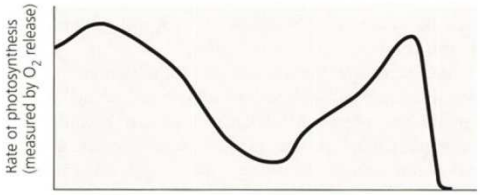
A3 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง



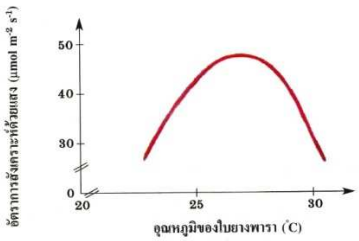
- รงควัตถุ (สามารถสกัดแยกออกมาได้ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม)
  - chlorophyll (Mg^{2+} / Fe^{2+})
    - chlorophyll a
      - ดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน)/ 662 นาโนเมตร (แสงสีแดง)
      - reaction center
      - พบในพืช/ สาหร่ายทุกกลุ่ม
    - chlorophyll b
      - ดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร/ 642 นาโนเมตร
      - พบในพืช/ สาหร่ายสีเขียว
    - chlorophyll c
      - พบในสาหร่ายสีน้ำตาล/ สีน้ำตาลแกมเหลือง
    - chlorophyll d
      - พบในสาหร่ายสีแดง
  - รงควัตถุประกอบ (accessory pigment)
    - carotenoid = carotene + xanthophyll (lycopene)
      - ดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 460 – 550 นาโนเมตร
      - พบในพืช/ สาหร่ายทุกกลุ่ม
    - phycobilin
      - phycoerythrin (สาหร่ายสีแดง > สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน)
      - phycocyanin (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน > สาหร่ายสีแดง)
    - bacteriochlorophyll
      - reaction center แทน chlorophyll a
      - ดูดแสง infrared > UV
      - green/ purple sulfer bacteria
    - bacterioveridin
      - reaction center แทน chlorophyll a
      - green sulfer bacteria



(a) Absorption spectra. The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.



- แสงและความเข้มของแสง
  - พืช : ใช้สีแดง (608 – 800 nm) และสีม่วง (400 nm)
  - bacteria : ใช้ infrared
  - หน้าที่แสง
    - กระตุ้น e^- ใน chlorophyll ให้มีพลังงานสูงขึ้น
    - แยกน้ำใน photolysis
    - สร้าง ATP, NADPH
  - light compensation point
    - ความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการปล่อย CO_2 (จากการหายใจ) เท่ากับอัตราการตรึง CO_2
    - พืชในที่ร่มอัตราการหายใจต่ำ เท่ากับการตรึง CO_2 ได้ที่ความเข้มแสงต่ำ
      = light compensation point ต่ำ
  - จุดอิ่มตัวแสง
    - ความเข้มแสงที่เพิ่มความเข้มแสงไปอีกจะไม่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 เพิ่ม
- enzyme
  - RuBP carboxylase
    - Calvin cycle
    - พบในพืช C_3, C_4, CAM
    - ทำงานที่ความเข้มของ CO_2 สูง ; O_2 ต่ำ
    - photorespiration
      - ปากใบต้องเปิด — พืชใบใหญ่/ เจริญที่ชื้น
  - PEP carboxylase
    - Hatch-Slack pathway
    - พบในพืช C_4, CAM
    - จับ CO_2 ได้ดีที่ความเข้มของ CO_2 ต่ำ/ O_2↑
    - ไม่เกิด photorespiration
      - ไม่ต้องเปิดปากใบตอนกลางวัน พืชทนแล้ง
- คาร์บอนไดออกไซด์
  - $[CO_2]$ α photosynthetic rate
  - เป็น hydrogen acceptor
  - เข้าทางปากใบ แล้วแพร่เข้าเซลล์อื่น
  - อัตราการตรึง CO_2 สุทธิ
    - เป็นลบ → อัตราการตรึง CO_2 < อัตราการปล่อย CO_2 (จากการหายใจ) — photosynthetic < respiration
    - เป็นศูนย์ → อัตราการตรึง CO_2 = อัตราการปล่อย CO_2 (จากการหายใจ)
      - = CO_2 compensation point (ความเข้มของ CO_2 สุทธิเป็นศูนย์)
    - เป็นบวก → อัตราการตรึง CO_2 > อัตราการปล่อย CO_2 (จากการหายใจ)
      - เพิ่มความเข้มแสง
  - จุดอิ่มตัวของ CO_2
    - ความเข้มข้นของ CO_2 เพิ่ม
    - แต่ RuBP และ enzyme จำกัด
    - การตรึง CO_2 ไม่สูงขึ้น



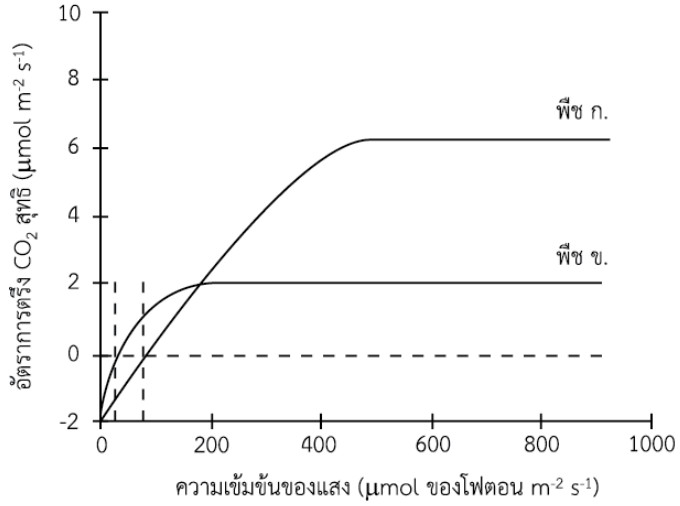
- อุณหภูมิ
  - มีผลต่อการทำงานของ enzyme
  - ↑อุณหภูมิ
    - ↑respiratory rate & ↑photorespiration
    - ↓photosynthetic
  - อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก
    - สูญเสียคุณสมบัติเยื่อเลือกผ่าน
    - สังเคราะห์แสงลดลง
- อายุใบ
  - ใบอ่อนไป — chloroplast ไม่เจริญเต็มที่
  - ใบแก่ไป — ↓photosynthetic
- ธาตุอาหาร
  - Mg & N
    - ส่วนประกอบ chlorophyll
    - ขาด → chlorosis (ใบซีดเหลือง) — granum & chlorophyll สลาย — ↓photosynthetic
  - Fe
    - co-factor ในการสร้าง chlorophyll
    - องค์ประกอบของ cytochrome (ถ่ายทอด e^-)
- น้ำ
  - ↑osmotic pressure
    - ปากใบเปิด
    - ใบกางรับแสง
  - แบคทีเรียจะใช้ H_2S แทนน้ำ
  - photolysis

แนวข้อสอบ

1. ข้อใดผิด
   1. ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร โมเลกุลของน้ำแยกสลายเป็นออกซิเจนและโปรตอน
   2. ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากคลอโรฟิลล์ a ในระบบแสง I จะไม่ย้อนกลับคืนสู่ระบบแสง I อีก
   3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรเกิดขึ้นเมื่อระบบแสง II ได้รับพลังงานแสง สารสีในระบบแสง II จะรับพลังงานแสงและถ่ายทอดพลังงานไปยังคลอโรฟิลล์ a
   4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรมีการสังเคราะห์ทั้ง NADPH และ ATP ส่วนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรมีการสังเคราะห์ ATP แต่ไม่มีการสังเคราะห์ NADPH

2. ในเวลากลางคืน พืชในกลุ่มใดมีการลำเลียงกรดมาลิกไปเก็บไว้ในแวคิวโอล
   1. ข้าว มะม่วง
   2. อ้อย ข้าวโพด
   3. กล้วยไม้ ว่านหางจระเข้
   4. ผักโขมจีน บานไม่รู้โรย

3. จากการศึกษาความเข้มของแสงกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 2 ชนิด โดยวัดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลดังภาพ



ข้อใดไม่ถูกต้อง
1. พืชทั้งสองชนิดมีจุดอิ่มตัวของแสงไม่เท่ากัน
2. พืชทั้งสองชนิดมีไลท์คอมเพนเซชันพอยท์เท่ากัน
3. พืช ก. เป็นพืชที่อยู่กลางแจ้ง และพืช ข. เป็นพืชในร่ม
4. ในที่ไม่มีแสง พืชทั้งสองชนิดมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

แบบฝึกหัด

1. ข้อใดถูกสำหรับปฏิกิริยาแสง (PAT2 มี.ค. 52)
   1. อิเล็กตรอนที่ถ่ายทอดจากระบบแสง I สู่ระบบแสง II ผ่านตัวรับอิเล็กตรอนหลายตัว จะมีพลังงานลดลงเป็นลำดับ
   2. เมื่อคลอโรฟิลล์ a โมเลกุลพิเศษที่เป็นศูนย์กลางของปฏิกิริยาแสงส่งอิเล็กตรอนให้ตัวรับอิเล็กตรอนแล้วจะมีการส่งต่อให้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่นอีกหลายตัว
   3. ในลูเมนของไทลาคอยด์ของกรานามีการสะสมโปรตอนมากขึ้นจนเกิดความแตกต่างของปริมาณโปรตอนในลูเมนและในสโตรมาทำให้เกิดการสังเคราะห์ ATP ภายในลูเมน
   4. ระหว่างปฏิกิริยาแสง สารที่สะสมอยู่บนเยื่อไทลาคอยด์คือ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ แต่สารที่สะสมอยู่ในลูเมนของไทลาคอยด์ คือ อิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของน้ำ

2. แหล่งพลังงานที่นำมาสร้าง ATP จาก ADP + Pi ในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ของพืชเกิดจากข้อใด (PAT2 มี.ค. 53)
   1. พลังงานที่รงควัตถุดูดจับไว้
   2. พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
   3. ความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนระหว่างภายนอกและภายในของไทลาคอยด์
   4. ความแตกต่างของความเข้มข้นของอิเล็กตรอนระหว่างภายนอกและภายในของไทลาคอยด์

3. จงเรียงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (PAT2 มี.ค. 54)

   A อิเล็กตรอนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ a จะถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาพเร่งเร้า (excited state)

   B พลังงานแสงถูกส่งเข้าสู่ศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center)

   C แคโรทีนอยด์บริเวณเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) รับพลังงานแสง

   1. A B C
   2. C B A
   3. A C B
   4. B C A

4. วัฏจักรคัลวินของพืชชนิดหนึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องอาศัยแสง แต่ปฏิกิริยานี้ไม่สามารถเกิดขึ้นในเวลากลางคืนได้เพราะเหตุใด (PAT2 ก.ค. 53)
   1. พืชมีการเปิดปากใบในเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน
   2. พืชมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดต่ำลงในเวลากลางคืน
   3. กลางคืนมีอุณหภูมิต่ำกว่ากลางวันซึ่งไม่เหมาะต่อปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวิน
   4. พืชต้องนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงในเวลากลางวันมาใช้ในวัฏจักรคัลวิน

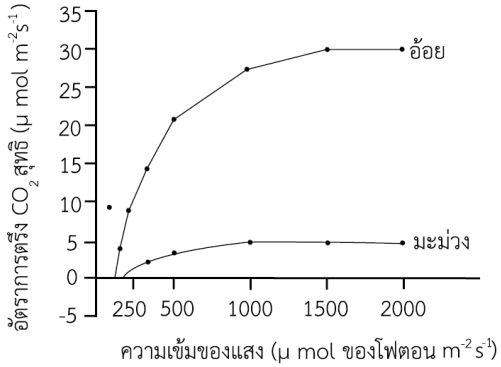
5. ข้อใดถูกสำหรับปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (PAT2 มี.ค. 52)
   1. PGA เป็นสารเสถียรตัวแรกที่เกิดจากขั้นตอนการรวมกันของ RuBP และ CO_2 โดยได้พลังงานจาก ATP
   2. ผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์คือ G3P หรือ PGAL
   3. ขั้นตอนรีเจเนอเรชันคือขั้นตอนที่นำ PGAL 2 โมเลกุล สร้างน้ำตาล C_6 1 โมเลกุล
   4. น้ำตาล C_6 ที่เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์สามารถลำเลียงไปยังไมโทคอนเดรียได้โดยตรงเพื่อสลายให้ได้พลังงาน

6. ข้อใด<u>ไม่ถูก</u>เกี่ยวกับปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน (carboxylation) (PAT2 มี.ค. 54)
   1. ได้ผลลัพธ์คือ 3-phosphoglycerate (3PGA)
   2. ผลลัพธ์ที่เสถียรเป็นสารที่มีคาร์บอน 6 อะตอม
   3. เร่งปฏิกิริยาโดยการทำงานของเอนไซม์ RuBisCo
   4. สารตั้งต้นของปฏิกิริยา carboxylation มีคาร์บอน 5 อะตอม

7. ข้อเปรียบเทียบระหว่างพืช C_3 และพืช C_4 ข้อใดไม่ถูกต้อง (PAT2 มี.ค. 52)

	ข้อเปรียบเทียบ	**พืช C_3**	**พืช C_4**
1.	บันเดิลชีทของใบ	อาจมีหรือไม่มี	มี
2.	คลอโรพลาสต์ที่เซลล์บันเดิลชีท	ไม่มี	มี
3.	การได้ CO_2 จำนวนครั้งของการตรึง CO_2 และแหล่งที่เกิดปฏิกิริยาตรึง	ได้จากอากาศ 1 ครั้ง ซึ่งเกิดการตรึงที่เซลล์มีโซฟิลล์	ได้จากอากาศ 1 ครั้ง ซึ่งเกิดการตรึงที่เซลล์มีโซฟิลล์ และได้จากการเกิดภายในใบอีก 1 ครั้ง ซึ่งเกิดจากการตรึงที่เซลล์บันเดิลชีท
4.	สารตัวแรกที่เกิดจากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์	กรดฟอสโฟกลีเซอริก	กรดมาลิก

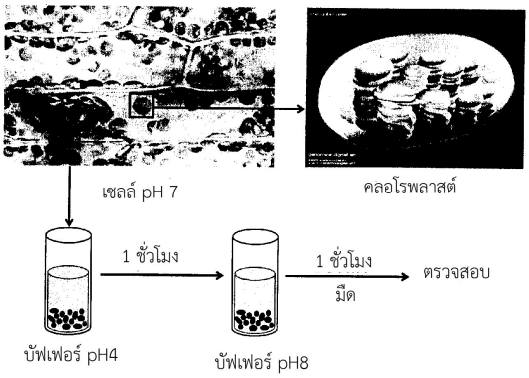
8. ข้อใดเป็นข้อสรุปที่ได้จากกราฟ (PAT2 มี.ค. 52)



1. อ้อยมีค่าไลท์คอมเพนเซชันพอยท์สูงกว่ามะม่วง
2. มะม่วงมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 1,200 μmol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$
3. อ้อยมีจุดอิ่มตัวของแสงประมาณ 100 μmol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$
4. ความเข้มของแสงที่มากกว่า 1,500 μmol ของโฟตอน $m^{-2}s^{-1}$ จะไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของอ้อย

9. ข้อใดกล่าว<u>ไม่ถูกต้อง</u>เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทุกชนิดในธรรมชาติ (PAT2 ต.ค. 53)
1. ปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในเวลากลางวันเท่านั้น
2. วัฏจักรคัลวินเกิดขึ้นในเวลากลางวันเท่านั้น
3. ปฏิกิริยาแสงเกิดขึ้นในเวลากลางวันเท่านั้น
4. ข้อ 2 และ 3 ไม่ถูกต้อง

10. แยกไทลาคอยด์ที่สมบูรณ์ (intact thylakoid) ของคลอโรพลาสต์จำนวนหนึ่งจากเซลล์พืชที่มี pH 7 นำมาจำนวนหนึ่งไปใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นแยกไทลาคอยด์ดังกล่าวไปใส่ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 8 และเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



เมื่อนำสารละลายบัฟเฟอร์ pH 8 มาตรวจสอบ ควรจะพบสิ่งใด (PAT2 ต.ค. 52)

1. กลูโคส
2. ATP
3. NADPH
4. pH จะลดต่ำกว่าเดิม

11. ข้อใดถูกสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (PAT2 ก.ค. 52)
    1. ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ แก๊สออกซิเจนและ G3P (PGAL)
    2. ในวัฏจักรคัลวิน RuBP สามารถตรึงได้ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน
    3. RuBisCO เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในพืช และพบในทุกเซลล์ที่มีชีวิตของพืช
    4. เซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 มี PEP carboxylase และ RuBisCO ช่วยกันตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

12. ข้อใด<u>ไม่ถูกต้อง</u> (PAT2 ก.ค. 52)
    1. ในการสกัดสารสีจากใบคะน้ารวมกับใบโกสน ต้องใช้ทำตัวละลาย 2 ชนิด เพื่อแยกสารสีออกจากกันเป็น 2 กลุ่ม
    2. คลอโรฟิลล์ a โมเลกุลพิเศษในระบบแสงสามารถให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงหากได้รับแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นเหมาะสม
    3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรจนได้ NADPH นั้น ระบบแสง II รับอิเล็กตรอนมาจากการแตกตัวของน้ำและ $NADP^+$ รับอิเล็กตรอนเป็นลำดับสุดท้าย
    4. พืชมีสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงหลายชนิด แต่ละชนิดดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันแต่รวมทุกชนิดแล้วสามารถดูดกลืนแสงได้ทุกความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น

13. ข้อใดถูกเกี่ยวกับสารสี (PAT2 มี.ค. 52)
    1. สารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียวคือ คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และแคโรทีนอยด์
    2. สารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชอยู่ที่เยื่อหุ้มชั้นในและเยื่อไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์
    3. คลอโรฟิลล์ a และแคโรทีนอยด์ดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 – 500 นาโนเมตร และ 630 – 700 นาโนเมตร ตามลำดับ
    4. สารสีทุกชนิดที่พบในพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน ล้วนทำหน้าที่เป็นแอนเทนนาดูดรับพลังงานแสง